

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 35 274.7  
**Anmeldetag:** 27. Juli 1999  
**Anmelder/Inhaber:** Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV, München/DE  
**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus einer Werkstoffkombination  
**IPC:** B 22 F 3/105

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 04. Dezember 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Letang

Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von Bauteilen  
aus einer Werkstoffkombination

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus einer Werkstoffkombination. Hierbei handelt es sich insbesondere um Bauteile, in denen unterschiedliche Bereiche aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen, beispielsweise um bestimmten Bauteilabschnitten eine besondere Festigkeit zu verleihen.

Das vorgestellte Verfahren läßt sich in den Bereich der sogenannten generativen Fertigungsverfahren einordnen. Diese Fertigungsverfahren werden bisher vor allem für den Bereich des Rapid-Prototyping in der Produktentwicklung eingesetzt, um die Produktentwicklungszeit zu verkürzen sowie die Produktqualität zu steigern. Dies wird dadurch ermöglicht, daß mittels der Rapid-Prototyping Verfahren Prototypen schichtweise aus dem 3D CAD-Modell hergestellt werden können. Die zeitaufwendige Erstellung eines NC-Programmes für eine Fräsbearbeitung oder die Herstellung formgebender Werkzeuge kann aufgrund dieser Verfahren entfallen.

Ein weiterer Vorteil bei der schichtweisen Herstellung der Bauteile besteht in der erreichbaren hohen Komplexität der herstellbaren Strukturen. Durch den schichtweisen Herstellungsprozeß können auch komplexe interne Strukturen aufgebaut werden, die mit

konventionellen Fertigungsverfahren nicht erreichbar sind.

Die Entwicklung neuer bzw. die Weiterentwicklung bestehender generativer Verfahren hat zum Ziel, 5 möglichst seriennahe oder sogar serienidentische Werkstoffe zu verarbeiten. Beim Einsatz serien-identischer Werkstoffe können diese Verfahren daher nicht nur für den Bereich des Rapid-Prototyping eingesetzt werden, sondern auch als Fertigungsverfahren 10 für die Serienprodukte selbst.

Bekannte generative Fertigungsverfahren, wie beispielsweise das selektive Laserstrahlschmelzen (SLPR) oder das sogenannte Laserstrahlgenerieren, ermöglichen bereits die Herstellung von Bauteilen aus 15 seriennahen oder serienidentischen metallischen Werkstoffen. Bei beiden Verfahren werden metallische Bauteile schichtweise aus einem Pulverwerkstoff hergestellt. Die Verfahren ermöglichen die Fertigung von Bauteilen mit einer Bauteildichte von ca. 100%, so 20 daß sie eine entsprechend hohe Festigkeit aufweisen. Beide genannten Verfahren beruhen allerdings auf unterschiedlichen Grundprinzipien, die unterschiedliche Einschränkungen bezüglich der herstellbaren Bauteile nach sich ziehen.

25

Das selektive Laserstrahlschmelzen ist ein zweistufiger Prozeß. Bei diesem Prozeß wird zunächst eine ebene Schicht eines metallischen Pulverwerkstoffes auf eine Plattform für das Bauteil aufgebracht. Im 30 nächsten Schritt wird die herzustellende Form bzw. Kontur der Schicht mit einem Laserstrahl abgetastet und das Pulver im abgetasteten Bereich spurweise aufge-

schmolzen. Auf diese Weise wird das Bauteil Schicht für Schicht aufgebaut.

Ein Beispiel für ein derartiges Verfahren ist in der DE 196 49 865 C1 beschrieben. Bei diesem Verfahren 5 wird ein bindemittel- und flußmittelfreies metallisches Werkstoffpulver auf die Bauplattform aufgebracht und durch den Laserstrahl entsprechend der Bauteilgeometrie auf Schmelztemperatur erhitzt. Die Energie des Laserstrahls wird so gewählt, daß das metallische Werkstoffpulver an der Auftreffstelle des Laserstrahls über seine gesamte Schichtdicke vollständig aufgeschmolzen wird. Der Laserstrahl wird hierbei in mehreren Spuren 10 derart über den vorgegebenen Bereich der jeweiligen Werkstoffpulverschicht geführt, daß jede folgende Spur 15 des Laserstrahls die vorherige Spur teilweise überlappt. Gleichzeitig wird eine Schutzgasatmosphäre über der Wechselwirkungszone des Laserstrahls mit dem metallischen Werkstoffpulver aufrechterhalten, um 20 Fehlstellen zu vermeiden, die beispielsweise durch Oxidation hervorgerufen werden können.

Das Verfahren des selektiven Laserstrahlschmelzens ermöglicht die Herstellung beliebig komplexer Bauteile mit guter Detailtreue und hoher Präzision.

Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist 25 allerdings das eingeschränkte Spektrum der mit dem Verfahren verarbeitbaren Werkstoffe. So lassen sich insbesondere Hartstoffe, wie zum Beispiel Karbide, nur ungenügend verarbeiten, so daß eine Bauteildichte von 30 100% mit diesen Materialien nur schwer oder gar nicht erreichbar ist. Ein weiterer Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß ein Wechsel des Pulverwerkstoffs während eines Bauprozesses bisher nur jeweils schicht-

weise, das heißt nach der Bearbeitung einer kompletten Schicht, nicht jedoch während der Bearbeitung innerhalb einer Schicht möglich ist. Es lassen sich daher mit diesem Verfahren keine Bauteile herstellen, die 5 innerhalb einer Schicht lokal einen weiteren Werkstoff aufweisen. So wäre es in vielen Anwendungsbereichen beispielsweise wünschenswert, Bauteile an stark beanspruchten Stellen zusätzlich mit einem Hartstoff zu verstärken.

10

Das Verfahren des Laserstrahlgenerierens ist ein einstufiger Prozeß. Bei diesem Verfahren wird der Werkstoff als Draht oder Pulver über eine Zufuhrseinheit kontinuierlich in den Fokus des Laserstrahles einge- 15 bracht. Werkstoffzufuhr und Energieeinbringung durch den Laserstrahl erfolgen simultan. Im Falle eines pulverförmigen Werkstoffes wird das Metallpulver hierbei vorzugsweise durch einen Inertgasstrom zu einer Pulverdüse geführt und mit dieser auf die Bearbeitungs- 20 stelle fokussiert. Der Laserstrahl und die Zufuhr- einheit sind zueinander ortsfest und werden gemäß der aufzubauenden Form bzw. Kontur des Bauteiles in der jeweiligen Schicht bewegt. Auch hierbei wird das Bauteil Schicht für Schicht durch Abtasten der 25 entsprechenden Form mit dem Laserstrahl aufgebaut.

Ein Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem Verfahren des selektiven Laserstrahlschmelzens besteht vor allem in der Vielzahl der mit dem Verfahren verarbeitbaren metallischen Werkstoffe. Weiterhin 30 lassen sich mit diesem Verfahren auch Hartstoffe gut verarbeiten.

Im Gegensatz zum Verfahren des selektiven Laserstrahlschmelzens ist die Komplexität der Bauteile,

die mit dem Verfahren des Laserstrahlgenerierens hergestellt werden können jedoch nur gering. So ist insbesondere bei filigranen Bauteilelementen mit Abmessungen von unter 1 mm keine ausreichende

5 Detailtreue mehr gewährleistet.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung und ein Verfahren anzugeben, die die Herstellung von komplexen Bauteilen aus einer 10 Werkstoffkombination ermöglichen, so daß einzelne Bereiche des Bauteils aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen können.

Die Aufgabe wird mit der Vorrichtung bzw. dem 15 Verfahren nach Anspruch 1 bzw. 11 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung und des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist, ebenso wie 20 die Vorrichtungen für das selektive Laserstrahlschmelzen, eine Bodenfläche mit einer absenkbarer Bauplattform für das Bauteil, einen Mechanismus zur Nivellierung eines ersten Werkstoffes in einer Bearbeitungsebene über der Bauplattform sowie eine 25 Laserlichtquelle zur Emission eines Laserstrahls auf. Weiterhin ist eine Bearbeitungseinheit vorgesehen, die eine Fokussieroptik zur Fokussierung des Laserstrahls auf die Bearbeitungsebene trägt. Die Bearbeitungseinheit wird mit Hilfe eines Positioniermechanismus in 30 einer zur Bearbeitungsebene parallelen Ebene verfahren. Der Positioniermechanismus dient daher der Erzeugung der Abtastbewegung des Laserstrahls auf der Bearbeitungsebene entsprechend der zu fertigenden

Bauteilform bzw. -kontur. Die Laserlichtquelle kann hierbei direkt an der Bearbeitungseinheit angebracht sein oder auch von außen in diese eingekoppelt werden. Im Unterschied zu den bekannten Vorrichtungen des

5 selektiven Laserstrahlschmelzens weist die erfindungsgemäße Vorrichtung weiterhin eine Absaug- oder Abblaseeinrichtung zum Absaugen von Werkstoff aus der Bearbeitungsebene sowie eine Zufuhreinrichtung für einen zweiten Werkstoff auf, mit der dieser zweite

10 Werkstoff in den Fokusbereich des Laserstrahls gebracht werden kann. Bei dieser Zufuhreinrichtung kann es sich beispielsweise um eine Vorschubeinrichtung für einen in Drahtform vorliegenden Werkstoff handeln, der während der Bearbeitung dem Fokus des Laserstrahls in der

15 Bearbeitungsebene zugeführt wird. Die Zufuhreinrichtung kann auch eine Düse sein, mit der pulverförmiger oder pastenförmiger zweiter Werkstoff während der Bearbeitung in den Fokusbereich des Lasers eingebracht wird. In beiden Fällen ist die Zufuhreinrichtung

20 vorzugsweise direkt an der Bearbeitungseinheit befestigt, so daß die Zufuhreinrichtung mit dieser mitbewegt wird.

Die Zufuhreinrichtung kann jedoch auch durch den gleichen oder einen zusätzlichen Mechanismus gebildet

25 sein, mit dem bereits der erste Werkstoff in der Bearbeitungsebene verteilt wird. Hierbei muß neben dem Vorratsbehälter für den ersten Werkstoff auch ein Vorratsbehälter für den zweiten Werkstoff vorgesehen sein.

30 Es versteht sich von selbst, daß nicht nur ein zweiter, sondern auch noch weitere Werkstoffe mit den genannten Mitteln zugeführt werden können.

Das Verfahren sieht den Aufbau des Bauteils durch schichtweises Aufbringen und Aufschmelzen unterschiedlicher Werkstoffe Schicht für Schicht vor. Der Aufbau zumindest einer der Schichten beinhaltet hierbei die

5 folgenden Schritte:

a) Ein erster Werkstoff wird in der Bearbeitungsebene über der absenkbarer Bauplattform für das Bauteil gleichmäßig und eben verteilt. Anschließend wird die Form bzw. Kontur der zu erstellenden Schicht des

10 Bauteiles mit dem auf die Bearbeitungsebene fokussierten Laserstrahl in den (ersten) Bereichen, in denen das Bauteil aus dem ersten Werkstoff bestehen soll, abgetastet, so daß der erste

15 Werkstoff entsprechend der abgetasteten Form in diesen Bereichen aufgeschmolzen wird.

b) Der erste Werkstoff wird dann in zweiten Bereichen der Bearbeitungsebene, in denen das Bauteil aus einem zweiten Werkstoff oder einer chemischen Verbindung mit dem zweiten Werkstoff bestehen soll, abgesaugt oder weggeblasen, so daß in diesen

20 Bereichen Raum für den zweiten Werkstoff geschaffen wird.

c) Danach wird der zweite Werkstoff in den zweiten Bereichen der Bearbeitungsebene aufgebracht.

25 Anschließend wird die Form der Schicht des Bauteils mit einem auf die Bearbeitungsebene fokussierten Laserstrahl in den zweiten Bereichen abgetastet, wobei der zweite Werkstoff oder die Verbindung mit dem zweiten Werkstoff entsprechend der abgetasteten

30 Form in den zweiten Bereichen aufgeschmolzen wird.

d) Nach Fertigstellung der Schicht wird die Bauplattform gegebenenfalls um die soeben hergestellte Dicke

der Schicht abgesenkt, so daß die nächste Schicht aufgebracht werden kann.

Es entsteht somit eine Schicht aus aufgeschmolzenem  
5 und in Form einer schmelzmetallurgischen Verbindung  
wieder verfestigtem erstem und zweitem Werkstoff mit  
der Form bzw. Kontur der Schicht des entsprechenden  
Bauteils. Es können auch weitere Werkstoffe in gleicher  
10 Weise wie der zweite Werkstoff in die gleiche Schicht  
integriert werden, wobei in diesem Fall die für die  
weiteren Werkstoffe vorgesehenen Bereiche jeweils vor  
Aufbringen der weiteren Werkstoffe durch Absaugen oder  
Abblasen von übrigem Werkstoff befreit werden.

15 Das Aufbringen des zweiten Werkstoffes kann  
erfolgen, indem die Form bzw. Kontur der Schicht des  
Bauteils, die aus einem zweiten Werkstoff bestehen  
soll, mit dem Laserstrahl abgetastet wird, während der  
zweite Werkstoff über eine gesonderte Zufuhreinrichtung  
20 gebündelt in den Fokusbereich des Laserstrahls gebracht  
wird.

Das Aufbringen des zweiten Werkstoffes kann jedoch  
auch in gleicher Weise wie das Aufbringen des ersten  
Werksstoffes erfolgen, beispielsweise mit einem  
25 Schieber.

Die weiteren Schichten des Bauteils können  
entweder in gleicher Weise aus einer Kombination der  
Schritte a) bis c) bzw. d) gefertigt oder jeweils nur  
30 aus einem einzigen Werkstoff durch Anwendung der  
Schritte a) oder c) aufgebaut werden.

Bei dem vorgestellten Verfahren bietet sich somit  
die Möglichkeit, einzelne Schichten nur aus dem ersten

Material oder nur aus dem zweiten Material herzustellen. Sollen innerhalb einer Schicht beide Materialien zum Einsatz kommen, so wird zunächst das erste Material in den entsprechenden Bereichen

5 aufgeschmolzen, und anschließend das zweite Material aufgebracht. Vor dem Aufbringen und Aufschmelzen des zweiten Materials in den für dieses Material vorgesehenen Bereichen, wird über eine Saug- oder Blasvorrichtung das pulverförmige erste Material aus

10 diesen Bereichen entfernt. Optional kann nach der Herstellung jeder Schicht die Oberfläche mit einer geeigneten Schleifvorrichtung zusätzlich eingeebnet werden.

15 Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung ist die Herstellung von beliebig komplexen Bauteilen möglich, wobei einzelne Bereiche des Bauteils aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen können. So kann der zweite Werkstoff

20 beispielsweise an Stellen des Bauteils verwendet werden, die besonders beansprucht werden. Für diesen zweiten Werkstoff wird dann sinnvollerweise ein besonders verschleißarmes Material gewählt. Somit können Bauteile aus funktionsangepaßten Werkstoffkombinationen in einem Herstellungsschritt hergestellt werden.

25 So kann der Grundkörper des Bauteils beispielsweise aus einem Leichtbauwerkstoff mit beliebiger Komplexität und hoher Präzision hergestellt werden,

30 indem hierfür der erste Schritt entsprechend dem selektiven Laserstrahlschmelzen eingesetzt wird, mit dem eine hohe Detailtreue und Komplexität zu erreichen ist. Die Bereiche des Bauteils, die im späteren Einsatz

besonderen Beanspruchungen unterliegen, denen der Werkstoff des Grundkörpers nicht genügt, werden mit dem zweiten Schritt aus einem zweiten Werkstoff gefertigt. Diesem zweiten Schritt liegt vorzugsweise die Technik 5 des Laserstrahlgenerierens zugrunde, so daß hierfür Werkstoffe mit besonderer Härte eingesetzt werden können. Mit dem vorgestellten Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung können dabei insbesondere auch Bereiche im Inneren eines Bauteils aus dem zweiten 10 Werkstoff aufgebaut werden, die beim späteren fertigen Bauteil nicht mehr zugänglich sind.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung ist es auch möglich, über die oder eine 15 weitere Zufuhreinrichtung neben dem zweiten auch noch weitere Werkstoffe einzusetzen, so daß Bauteile mit mehr als zwei unterschiedlichen Werkstoffen herstellbar sind.

Die Erfindung vereint in einer bevorzugten 20 Ausführungsform die Vorteile der aus dem Stand der Technik bekannten Techniken des selektiven Laserstrahlschmelzens und des Laserstrahlgenerierens. Dadurch können einzelne Bauteilbereiche mit funktionsgerechten Werkstoffen aufgebaut werden, wo hingegen in den 25 anderen Bereichen einfachere Werkstoffe Verwendung finden können.

In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wurde die Bearbeitungseinheit mit der Zufuhreinrichtung für den zweiten 30 Werkstoff ausgestattet.

Vorzugsweise weist diese Bearbeitungseinheit ein Ablenkelement für den Laserstrahl auf, mit dem dieser

flächige Bereiche unterhalb der Bearbeitungseinheit ohne Bewegung des Positioniermechanismus abtasten kann. Dies erhöht die Bearbeitungsgeschwindigkeit während der Bearbeitung nach der Technik des selektiven Laserstrahlschmelzens. Das Ablenkelement wird hierbei vorzugsweise durch einen x-y-Scannerspiegel gebildet. Bei der Bearbeitung der ersten Bereiche, in denen der erste Werkstoff die Schicht bilden soll, wird somit der Positioniermechanismus nicht kontinuierlich sondern in bestimmten Schritten bewegt, wobei der Abstand zwischen den einzelnen Schritten über die Scanneroptik der Bearbeitungseinheit abgedeckt wird. Bei der Bearbeitung der zweiten Bereiche, bei denen der zweite Werkstoff über die Zufuhreinrichtung zugeführt wird, kommt lediglich der Positioniermechanismus zum Einsatz, der den Laserstrahl in diesem Fall kontinuierlich entsprechend der Form bzw. Kontur der zu erstellenden Bereiche führt. Bei der Umschaltung zwischen erstem und zweitem Werkstoff werden selbstverständlich Vorschubgeschwindigkeit und Laserleistung entsprechend angepaßt.

Der Positioniermechanismus selbst besteht vorzugsweise aus zwei senkrecht zueinander stehenden Linearachsen, mittels derer die Bearbeitungseinheit bewegt wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Figur nochmals erläutert.

30

Figur 1 zeigt hierbei schematisch ein Beispiel für eine Vorrichtung zur Fertigung von Bauteilen aus Werkstoffkombinationen. In der Figur ist die Bodenfläche 1

dargestellt, in die eine Bauplattform 2 eingelassen ist. Die Bauplattform ist in z-Richtung absenkbar. In dem vorliegenden Beispiel stellt die Ebene der Bodenfläche 1 gleichzeitig die Bearbeitungsebene 3 dar. Die 5 Anlage ist ähnlich einer Anlage zum selektiven Laserstrahlschmelzen ausgestaltet und umfaßt neben dem Bauraum mit der absenkbarer Bauplattform auch einen Pulvervorratsbehälter für den pulverförmigen ersten Werkstoff 4, und einen Mechanismus zur gleichmäßigen 10 Verteilung des pulverförmigen Werkstoffes 4 in der Bearbeitungsebene über der Bauplattform. Der Pulvervorratsbehälter ist in der Figur nicht dargestellt, ist jedoch ebenso angeordnet und bedienbar wie bei bekannten Anlagen zum Laserstrahlschmelzen. Als 15 Mechanismus zur Nivellierung wird im vorliegenden Beispiel ein Schieber 5 eingesetzt.

Das mit dieser Vorrichtung ausführbare Verfahren und die daraus resultierenden Vorteile werden insbesondere durch den Aufbau des Bearbeitungskopfes 6 erreicht. Dieser Bearbeitungskopf beinhaltet im vorliegenden Beispiel einen x-y-Scanner 7 in Form von mindestens einem drehbaren Spiegel, eine Fokussierlinse 8 zur Fokussierung des von der Laserstrahlquelle emittierten Laserstrahles 11 auf die Bearbeitungsebene 25 3, eine Zufuhreinheit 9 für einen zweiten Werkstoff sowie eine Absaugvorrichtung 10.

Die Zufuhreinheit 9 ist im vorliegenden Beispiel als Pulverdüse ausgestaltet, mit der pulverförmiger zweiter Werkstoff 12 in Form eines Pulverstrahls in den 30 Fokusbereich des Laserstrahls 11 fokussiert werden kann. Bei Zuführung des zweiten Werkstoffes in fester Form, das heißt in Form eines Drahtes, wird statt der Pulverdüse eine Vorschubvorrichtung für Draht im

Bearbeitungskopf 6 eingesetzt. Der Bearbeitungskopf selbst ist auf einer x-y-Verfahreinheit montiert, die in der Figur nicht dargestellt ist. Eine derartige Positioniervorrichtung kann beispielsweise in Form 5 einer Plottermechanik aufgebaut sein. Mit dieser x-y-Verfahreinheit kann der Bearbeitungskopf 6 an beliebige Stellen innerhalb einer zur Bodenfläche 1 bzw. Bearbeitungsebene 3 parallelen Ebene bewegt werden. Der 10 Laserstrahl bleibt dadurch immer auf die Bearbeitungsebene fokussiert. Die Absaugvorrichtung 10 ist im vorliegenden Beispiel in Form einer Düse ausgestaltet, deren Breite das Absaugen von pulverförmigem ersten Werkstoff 4 in Bereichen, in denen die Schicht aus dem zweiten Werkstoff 12 gefertigt werden soll, ermöglicht.

15

Der Aufbau des Bauteils erfolgt schichtweise. Zunächst wird mit dem Nivelliersystem 5 eine Schicht des Pulverwerkstoffes 4 auf die Bauplattform 2 aufgebracht. Der entsprechende Bereich der Pulverschicht, der zum herzustellenden Grundkörper gehört, wird aus dem ersten Pulverwerkstoff 4 nach dem Prinzip des selektiven Laserstrahlschmelzens verfestigt. Hierzu wird der Laserstrahl 11 mittels des Scannerspiegels 7 über einen vorgegebenen Scanbereich 13 abgelenkt. Ist 20 der vorgegebene Scanbereich 13, über den sich der Laserstrahl mit dem Scannerspiegel 7 bewegen lässt, kleiner als der aufzubauende Bereich des Bauteils, wird zunächst dieser Bereich des Scanfeldes bearbeitet. Danach wird der Bearbeitungskopf 6 mittels der Linearachsen des Positioniermechanismus in den nächsten zu bearbeitenden Bereich gefahren. Auf diese Weise wird 25 die gesamte zu bearbeitende Fläche in kleinere Teilflächen bzw. Unterbereiche unterteilt, in denen die 30

Abtastung jeweils nur über eine Bewegung des Scannerspiegels 7 erfolgt. Lediglich der zusätzlich erforderliche Transport von Teilfläche zu Teilfläche wird mit dem Positioniermechanismus durchgeführt.

- 5    Während der Bearbeitung zum Aufbau der Schicht mit dem ersten Werkstoff, das heißt während der scannenden Bearbeitung mittels des Scannerspiegels 7, bleibt die Zufuhr des zweiten Werkstoffs 12 über die Zufuhreinheit 9 unterbrochen. Auf diese Weise wird beispielsweise der
- 10    in Figur 1 dargestellte unterste Bereich des Bauteiles 14 aufgebaut. Die Bereiche des Bauteils 14 bzw. von Schichten des Bauteils 14, die zu den besonders beanspruchten Bereichen beim Einsatz des späteren fertigen Bauteils gehören, werden nach dem Prinzip des
- 15    Laserstrahlgenerierens aus dem zweiten Werkstoff 12 aufgebaut. Als Material für diesen Werkstoff wird bevorzugt ein Hartstoff, beispielsweise ein Karbid, eingesetzt. Beim Aufbau einer Schicht, die beide Werkstoffe umfassen soll, wird zunächst der Schicht-
- 20    bereich mit dem ersten Werkstoff in den entsprechenden Bereichen gemäß der oben dargelegten Vorgehensweise hergestellt. Anschließend wird der Pulverwerkstoff 4 aus den Bereichen entfernt, die aus dem zweiten Werkstoff bestehen sollen. Diese Entfernung des pulver-
- 25    förmigen ersten Werkstoffes 4 erfolgt mit der Absaugvorrichtung 10. Beim anschließenden Laserstrahlgenerieren der Schichtbereiche aus dem zweiten Werkstoff 12 bleibt der Scannerspiegel 7 in einer festen Position. Der Laserstrahl 11 wird allein durch die
- 30    Bewegung des Bearbeitungskopfes 6 mittels der Linearachsen des Positioniermechanismus über die zu bearbeitenden Bereiche geführt. Gleichzeitig mit dieser Bewegung wird der zweite Werkstoff 12 durch die Pulver-

düse 9 in den Fokus des Laserstrahles 11 zugeführt und dort aufgeschmolzen. Nach Bearbeitung der Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und die nächste Schicht bearbeitet.

5 Dieser Vorgang wiederholt sich Schicht für Schicht, bis das komplette Bauteil aufgebaut ist.

10 In der Figur erkennt man die aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellten Bereiche des Bauteiles. In der obersten Schicht des Bauteiles 14, die in der Figur gerade in Bearbeitung ist, erkennt man in vier kleinen Bereichen (in schwarzer Farbe), daß dort die Schicht zur Verstärkung aus dem zweiten Werkstoff 12 besteht.

15 Das grundlegende Verfahrensprinzip der bei der vorliegenden Vorrichtung und dem zugehörigen Verfahren eingesetzten Techniken der schmelzmetallurgischen Herstellung von Schichten ist dem Fachmann bekannt.

20 Selbst wenn im vorliegenden Ausführungsbeispiel sowie in den in der Beschreibung dargestellten Beispielen als erster Werkstoff ein Werkstoffpulver eingesetzt wurde, so ist selbstverständlich auch eine flüssige Phase dieses Werkstoffes, ebenso wie eine flüssige Phase des zweiten Werkstoffes, denkbar, ohne die wesentlichen Merkmale der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens verändern zu müssen. Ebenso lassen sich mit der Vorrichtung und dem Verfahren Bauteile herstellen, die nicht nur aus zwei, sondern aus drei oder mehr Werkstoffen bestehen. Hierfür muß lediglich die Zufuhr von Werkstoff über die Zufuhreinheit 9 mit anderen Werkstoffen versorgt werden. Dies ist auf einfache Weise während der Bearbeitung einer Schicht möglich. Mit dem Verfahren und der Vorrichtung lassen sich somit

Bauteile herstellen, die aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen, so daß beispielsweise ein komplexes Bauteil an den erforderlichen Stellen durch Hartstoffe zusätzlich verstärkt werden kann. Das

5 Einsatzspektrum für schnelle Fertigungsverfahren zur Herstellung von Serienprodukten wird damit deutlich vergrößert.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung von Bauteilen aus einer Werkstoffkombination, wobei die Vorrichtung
  - eine Bodenfläche (1) mit einer absenkbaren
- 5 Bauplattform (2) für das Bauteil (14),
  - einen Mechanismus (5) zur Zuführung und Nivellierung eines Werkstoffes (4) in einer Bearbeitungsebene (3) über der Bauplattform (2),
  - eine Laserlichtquelle zur Emission eines Laserstrahls
- 10 (11),
  - eine Bearbeitungseinheit (6) mit einer Fokussieroptik (8) zur Fokussierung des Laserstrahls auf die Bearbeitungsebene (3), und
  - einen Positioniermechanismus aufweist, der die
- 15 Bearbeitungseinheit (6) in einer zur Bearbeitungsebene (3) parallelen Ebene in beliebige Positionen über dem Bauteil (14) positionieren kann, dadurch gekennzeichnet,
  - daß eine Absaug- oder Abblaseinrichtung (10) zum
- 20 Absaugen von Werkstoff aus der Bearbeitungsebene (3) sowie eine Zufuhreinrichtung (9) für einen weiteren Werkstoff (12) vorgesehen sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
  - 25 dadurch gekennzeichnet,
    - daß die Absaug- oder Abblaseinrichtung (10) an der Bearbeitungseinheit (6) befestigt ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Bearbeitungseinheit (6) ein Ablenkelement (7)  
für den Laserstrahl (11) aufweist, mit dem dieser auf  
5 beliebige Stellen innerhalb eines von der jeweiligen  
Position des Positioniermechanismus abhängigen  
Bereiches der Bearbeitungsebene (3) abgelenkt werden  
kann.
  
- 10 4. Vorrichtung nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Ablenkelement (7) ein x-y-Scannerspiegelsystem  
ist.
  
- 15 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Zufuhreinrichtung (9) an der  
Bearbeitungseinheit (6) befestigt und so ausgestaltet  
ist, daß der weitere Werkstoff gebündelt in den  
20 Fokusbereich des Laserstrahls (11) gebracht werden  
kann.
  
6. Vorrichtung nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 daß die Zufuhreinrichtung (9) eine auf den Fokusbereich  
des Laserstrahls gerichtete Düse für pulverförmige  
Werkstoffe ist.
  
- 30 7. Vorrichtung nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Zufuhreinrichtung (9) eine Vorschubeinrichtung  
für drahtförmige Werkstoffe ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zufuhrreinrichtung (9) einen Vorratsbehälter für den weiteren Werkstoff (12) und einen Schieber umfaßt, 5 der den weiteren Werkstoff (12) in der Bearbeitungsebene (3) über der Bauplattform (2) verteilt.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, 10 daß der Positioniermechanismus eine x-y-Verfahreinheit mit zwei Linearachsen ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, 15 daß der Mechanismus (5) zur Nivellierung die Form eines Schiebers aufweist.
11. Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus einer Werkstoffkombination aus zumindest einem ersten (4) und 20 einem zweiten Werkstoff (12), bei dem das Bauteil (14) durch schichtweises Aufbringen und Aufschmelzen der Werkstoffe Schicht für Schicht aufgebaut wird, mit folgenden Schritten für zumindest eine der Schichten:
  - 25 - Verteilen des ersten Werkstoffes (4) in einer Bearbeitungsebene (3) über einer absenkbaren Bauplattform für das Bauteil, und Abtasten der Form der Schicht des Bauteils mit einem auf die Bearbeitungsebene fokussierten Laserstrahl (11) in ersten Bereichen
  - 30 der Bearbeitungsebene, wobei der erste Werkstoff (4) entsprechend der abgetasteten Form in den ersten Bereichen aufgeschmolzen wird;
  - Absaugen oder Abblasen des ersten Werkstoffes in

zweiten Bereichen der Bearbeitungsebene (3), in denen das Bauteil aus dem zweiten Werkstoff (12) oder einer Verbindung mit dem zweiten Werkstoff bestehen soll;

- Aufbringen des zweiten Werkstoffes (12) in den

5 zweiten Bereichen der Bearbeitungsebene und Abtasten der Form der Schicht des Bauteils mit einem auf die Bearbeitungsebene fokussierten Laserstrahl (11) in den zweiten Bereichen, wobei der zweite Werkstoff (12) oder die Verbindung mit dem zweiten Werkstoff entsprechend

10 der abgetasteten Form in den zweiten Bereichen aufgeschmolzen wird; und

- Absenken der Bauplattform um die Dicke der aufgeschmolzenen Schicht, falls eine weitere Schicht aufgebracht werden soll.

15

12. Verfahren nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der zweite Werkstoff (12) über eine getrennte  
Zufuhreinrichtung (9) gebündelt in den Fokusbereich des  
20 Laserstrahls gebracht wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der zweite Werkstoff (12) in gleicher Weise wie der  
25 erste Werkstoff (4) in den zweiten Bereichen der  
Bearbeitungsebene aufgebracht wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet,

30 daß das Abtasten der Form jeder Schicht des Bauteils in der Bearbeitungsebene mittels eines Positioniermechanismus erfolgt, der eine Fokussieroptik zur Fokussierung des Laserstrahls trägt und die

Fokussieroptik in einer zur Bearbeitungsebene parallelen Ebene auf beliebigen Bahnen über dem Bauteil bewegen kann.

- 5 15. Verfahren nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Abtasten der ersten Bereiche durch  
aufeinanderfolgendes Abtasten von Unterbereichen  
erfolgt, über die der Laserstrahl mittels einem mit dem
- 10 Positioniermechanismus mitgeführten drehbar gelagerten  
Scannerelement geführt wird, während das Abtasten der  
zweiten Bereiche bei feststehendem Scannerelement  
erfolgt.

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein generatives Fertigungsverfahren und eine zugehörige Vorrichtung, mit denen Bauteile aus einer Werkstoffkombination hergestellt werden können. Die Vorrichtung umfaßt eine Bodenfläche mit einer absenkbarer Bauplattform, einen Nivelliermechanismus zur Nivellierung eines ersten Werkstoffes in einer Bearbeitungsebene über der Bauplatte, eine Laserlichtquelle zur Emission eines Laserstrahls, eine Bearbeitungseinheit mit einer Fokussieroptik zur Fokussierung des Laserstrahls auf die Bearbeitungsebene und einen Positioniermechanismus, der die Bearbeitungseinheit in einer zur Bearbeitungsebene parallele Ebene in beliebige Positionen über dem Bauteil positionieren kann. Die Vorrichtung weist weiterhin eine Absaugeinrichtung zum Absaugen von Werkstoff aus der Bearbeitungsebene sowie eine Zufuhrseinrichtung für einen zweiten Werkstoff auf, mit der dieser in den Fokusbereich des Laserstrahls gebracht werden kann.

Mit dieser Vorrichtung wird die Herstellung von beliebig komplexen funktionsangepaßten Bauteilen möglich, in denen einzelne Bereiche zur Erhöhung der Festigkeit oder zur Verbesserung der Verschleißanfälligkeit aus einem zweiten, härteren Material bestehen können.

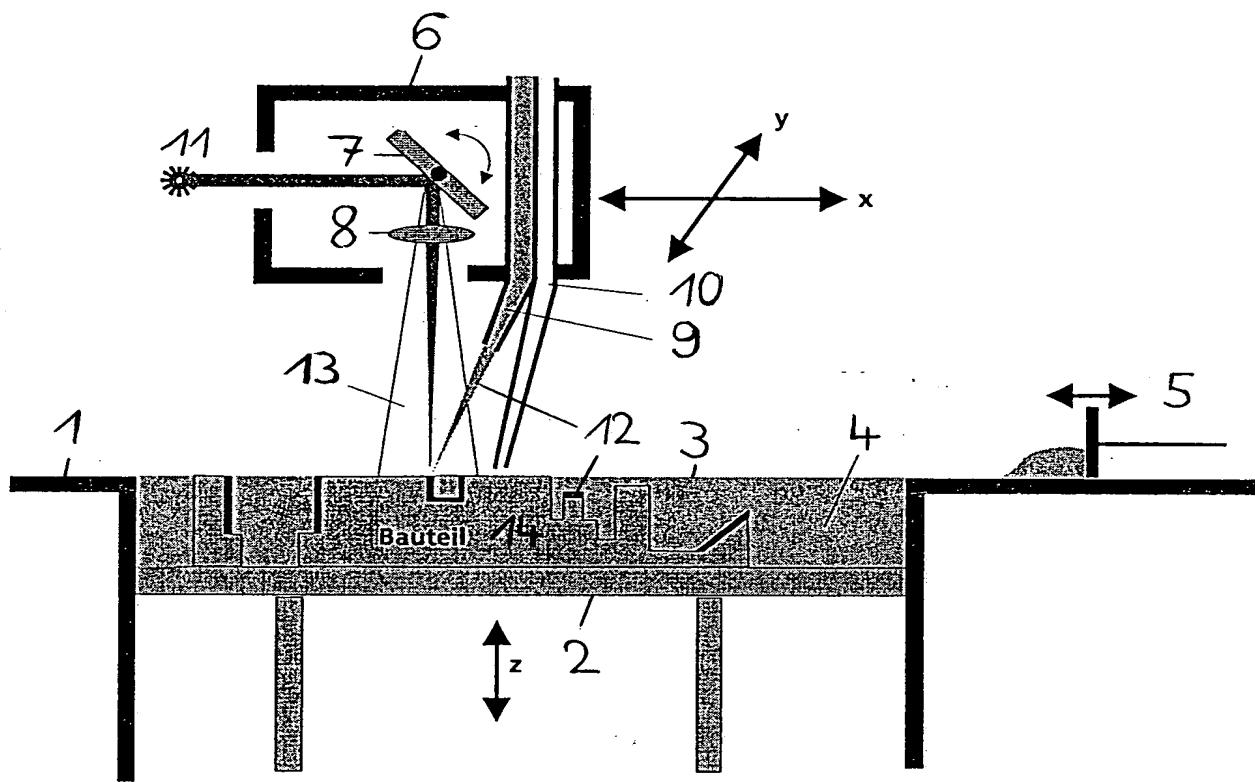


Fig. 1